

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-208892

(43)Date of publication of application : 26.07.2002

(51)Int.Cl. H04B 10/02  
H04B 10/18

(21)Application number : 2001-002174

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 10.01.2001

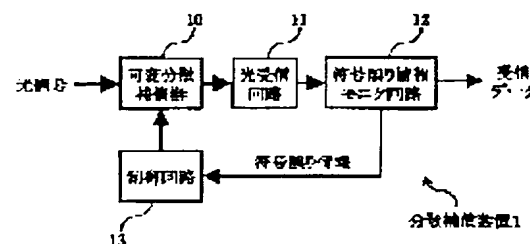
(72)Inventor : NISHIMOTO HIROSHI  
MIKAMI SATOSHI

## (54) DISPERSION COMPENSATION METHOD, DISPERSION COMPENSATING DEVICE AND OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a dispersion compensation method which can easily and automatically compensate waveform deterioration due to the dispersion characteristics of an optical transmission line and to provide a small and low-cost dispersion compensating device and optical transmission system.

**SOLUTION:** The dispersion compensation device 1 is provided with a variable dispersion compensation 10 for compensating the dispersion of an optical signal input via the optical transmission line, a code error information monitor circuit 12 generating code error information of a reception signal output from the variable dispersion compensator 10 via a light-receiving circuit 11 and a control circuit 13 which optimally controls the waveform dispersion value of the variable dispersion compensator 10, based on code error information from the code error information monitor circuit 12.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

06.10.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the  
examiner's decision of rejection or application  
converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of  
rejection][Date of requesting appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2002-208892  
(P2002-208892A)

(43)公開日 平成14年7月26日(2002.7.26)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	キーワード(参考)
H 0 4 B 10/02 10/18		H 0 4 B 9/00	M 5 K 0 0 2

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 20 頁)

(21)出願番号 特願2001-2174(P2001-2174)

(22)出願日 平成13年1月10日(2001.1.10)

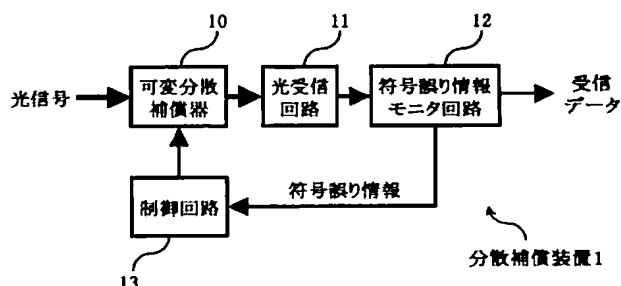
(71)出願人 000005223  
富士通株式会社  
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号  
(72)発明者 西本 央  
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内  
(72)発明者 三上 智  
宮城県仙台市青葉区一番町1丁目2番25号  
富士通東北デジタル・テクノロジー株式  
会社内  
(74)代理人 100078330  
弁理士 笹島 富二雄  
Fターム(参考) 5K002 AA05 CA01 DA02 FA01

(54)【発明の名称】 分散補償方法、分散補償装置および光伝送システム

(57)【要約】

【課題】光伝送路の分散特性に起因した波形劣化の自動補償を簡易に行うことが可能な分散補償方法を実現し、小型で低コストの分散補償装置および光伝送システムを提供する。

【解決手段】本発明による分散補償装置1は、光伝送路を介して入力される光信号の分散を補償する可変分散補償器10と、可変分散補償器10から光受信回路11を介して出力される受信信号の符号誤り情報を生成する符号誤り情報モニタ回路12と、符号誤り情報モニタ回路12からの符号誤り情報に基づいて、可変分散補償器10の波長分散値を最適制御する制御回路13とを備える。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】光伝送路の分散特性に起因して発生する光信号の波形劣化を補償する分散補償方法であって、光伝送路を介して入力される光信号の光学特性を可変の補償量に応じて変化させて波形劣化を補償する過程と、該波形劣化が補償された光信号の符号誤りに関する情報を生成する過程と、該生成された符号誤りに関する情報に基づいて、前記光信号の符号誤りが低減されるように前記波形劣化を補償する過程での補償量を制御する過程と、を含んでなることを特徴とする分散補償方法。

【請求項2】請求項1に記載の分散補償方法であって、前記波形劣化を補償する過程では、可変分散補償器を用いて光信号の波長分散が補償され、該波長分散と光信号に予め与えられたチャージングとの相互作用によるパルス整形効果に応じて光信号の偏波分散も同時に補償されることを特徴とする分散補償方法。

【請求項3】請求項1に記載の分散補償方法であって、前記補償量を制御する過程では、初期設定時に、前記波形劣化の補償量を予め設定した範囲で掃引して、前記符号誤りに関する情報を基に判断した符号誤りが最も少なくなる点に前記波形劣化の補償量を設定し、運用時には、前記符号誤りに関する情報を基に判断した符号誤りが予め設定した閾値以上になったとき、前記波形劣化の補償量を予め設定した刻み幅に従って前記符号誤りが減少する方向に順次変化させ、前記符号誤りが最も少なくなる点に前記波形劣化の補償量を再設定することを特徴とする分散補償方法。

【請求項4】請求項3に記載の分散補償方法であって、前記符号誤り情報を生成する過程は、予め設定した測定周期で符号誤りを検出し、前記補償量を制御する過程は、運用時、前記検出された符号誤りが相対的に多い状態では、1測定周期内の符号誤り検出数を基に符号誤り率を判断して前記波形劣化の補償量を制御し、前記検出された符号誤りが相対的に少ない状態では、所定個数の符号誤りが検出されるまでに要する測定周期数を基に符号誤り率を判断して前記波形劣化の補償量を制御することを特徴とする分散補償方法。

【請求項5】請求項1に記載の分散補償方法であって、前記光伝送路を介して入力される光信号が、波長の異なる複数のチャネル光を含んだ波長多重光信号であるとき、前記波形劣化の補償および該補償量の制御が、前記複数のチャネル光について一括して行われることを特徴とする分散補償方法。

【請求項6】請求項5に記載の分散補償方法であって、前記補償量を制御する過程は、前記複数のチャネル光のうちの少なくとも1つ以上のチャネル光における符号誤りの総和に基づいて、前記波形劣化を補償する過程での補償量を制御することを特徴とする分散補償方法。

【請求項7】請求項1に記載の分散補償方法であって、前記光伝送路を介して入力される光信号に誤り訂正符号を適用し、前記符号誤り情報を生成する過程では、前記波形劣化が補償された光信号について、誤り訂正処理回路で実行される誤り訂正処理前の符号誤りに関する情報、および、誤り訂正処理時の誤り訂正数のいずれか一方が生成されることを特徴とする分散補償方法。

【請求項8】光伝送路の分散特性に起因して発生する光信号の波形劣化を補償する分散補償装置であって、光伝送路を介して入力される光信号の光学特性を可変の補償量に応じて変化させて波形劣化を補償する波形劣化補償部と、該波形劣化補償部で補償された光信号の符号誤りに関する情報を生成する符号誤り情報生成部と、該符号誤り情報生成部で生成された符号誤りに関する情報に基づいて、前記光信号の符号誤りが低減されるように前記波形劣化補償部の補償量を制御する制御部と、を備えて構成されたことを特徴とする分散補償装置。

【請求項9】光送信装置から送信される光信号を光伝送路を介して光受信装置に伝送する光伝送システムにおいて、前記光受信装置が、請求項8に記載の分散補償装置を備えて構成されることを特徴とする光伝送システム。

【請求項10】請求項9に記載の光伝送システムであって、前記光送信装置側にも可変分散補償器を備えたことを特徴とする光伝送システム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、大容量、長距離の光伝送システムに好適な分散補償技術に関し、特に、波長分散および偏波分散の自動補償を容易に実現可能な分散補償方法、分散補償装置および光伝送システムに関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、光伝送装置の高速化が進み、10Gb/sの光伝送装置は既に実用化されており、40Gb/sの光伝送システムの開発が進められている。伝送速度が高速になるのに従い、光ファイバの波長分散特性と、光ファイバおよび光回路の偏波分散特性による光信号波形の劣化が顕著になり伝送距離を制限する主要因となる。

【0003】例えば、10Gb/sの光伝送システムでは、分散補償ファイバを用いて波長分散を補償することにより数百kmの長距離伝送を可能にしている。このように10Gb/sの光信号を数百km伝送する場合には、偏波分散の影響は小さいため偏波分散補償の必要性は低い。一方、40Gb/sの光信号を数百km伝送する場合には、光ファイバの温度変化に伴う波長分散特性

の変化や偏波分散の影響も無視できなくなるため、波長分散および偏波分散の自動補償システムが必要となる。

【0004】波長分散および偏波分散を自動補償する従来の技術としては、例えば、特開平7-221705号公報等に記載されているように、光伝送路を伝送されてきた光信号に対して、波長分散の自動補償を行う回路と、偏波分散の自動補償を行う回路とを個別に設け、それぞれの分散補償器が、可変型分散補償デバイス、制御用モニタ回路および制御回路を備えて構成される装置などが提案されている。

【0005】また、波長分散補償についての具体的な従来技術としては、例えば、特開平8-321805号公報、特開平9-326755号公報、特開平10-276172号公報、文献G.Ishikawa et al., "DEMONSTRATION OF AUTOMATIC DISPERSION EQUALIZATION IN 40 Gbit/s OTDM TRANSMISSION", Technical Digest of ECOC 98, pp.519-520, 1998、文献Y.Akiyama et al., "AUTOMATIC DISPERSION EQUALIZATION IN 40 Gbit/s TRANSMISSION BY SEAMLESS-SWITCHING BETWEEN MULTIPLE SIGNAL WAVELENGTHS", Technical Digest of ECOC 99, pp.1-150-151, 1999などに記載された各種技術も公知である。さらに、波長分散補償に用いられる可変型波長分散補償デバイスとしては、例えば、文献M.Shirasaki et al., "Dispersion Compensation Using The Virtually Imaged Phased Array", APCC/OECC 99, pp.1367-1370, 1999に記載されたVIPA (Virtually-Imaged-Phased-Array) デバイスや、文献M.M.Ohn et al., "Tunable Fiber Grating Dispersion Using a Piezoelectric Stack", OFC 97 WJ3で報告されたFBG (Fiber-Bragg-Grating) を利用した光デバイスなどがある。

【0006】また、偏波分散補償についての具体的な従来技術としては、例えば、文献H.Bulow et al., "Equalization of Bit Distortion Induced by Polarization Mode Dispersion", Technical Digest of Core and ATM Networks NOC 97, pp.65-72等に記載されているように、光処理型、光電処理型および電気処理型に大別され、光処理型においては多段構成のタイプも研究されている。光処理型および光電処理型については双方とも偏光状態の制御を行う必要があり、また、いずれの方式も複数の制御端子を制御する必要がある。さらに、偏波分散補償についての制御方式としては、例えば、文献H.Ooi et al., "Automatic Polarization-Mode Dispersion Compensation in 40 Gbit/s Transmission", IOOC 99, WE5、文献D.Sandel et al., "Automatic polarization mode dispersion compensation in 40 Gbit/s optical transmission system", Electron.Lett., 1998, pp.2258-2259等に記載された技術も公知であり、偏波分散補償後の光信号に含まれる、クロック信号の1/2の周波数成分や1/4の周波数成分をモニタして、偏光状態の制御を行う方式が提案されている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記のような従来の分散補償技術については、次に示すような問題点がある。

(1) 従来の偏波分散補償技術の殆どが偏光状態の制御を必要とするが、偏光状態は光ファイバの振動等により高速で変動するため、例えば1/1000秒オーダーの高速偏光制御が必要となる。

(2) 従来の偏波分散補償における複数の制御端子についての制御アルゴリズムが複雑であり、特に、多段構成タイプでは制御がより複雑になるため、前記(1)のような高速制御との両立が困難である。

(3) 偏波分散は、光ファイバの偏波主軸の長手方向の分布、偏波分散量の長手方向のばらつき、信号光の偏波の変動、高次の偏波分散等の現象がからみあって光信号波形を歪ませる複雑な現象であるため、これまでに提案されているような各種の補償技術では偏波分散を完全に補償することが困難である。

(4) 波長分散の自動補償と偏波分散の自動補償を別々に行う構成について、波長分散の補償制御と偏波分散の補償制御を切り分け、各々の制御を両立させるような制御技術が確立していない。

(5) 波長分散の自動補償と偏波分散の自動補償を別々に行うために、装置サイズが大きくなり、高コストになってしまう。

(6) 可変型分散補償デバイスの制御用のモニタ回路として、出力光を分岐する回路、周波数成分や波形劣化等をモニタする高周波回路、偏光状態をモニタする回路などが必要であるため、モニタ回路の寸法が大きくなり、高コストになってしまう。

(7) 従来の波長分散補償制御用のモニタ回路については、出力光に含まれるクロック信号成分をモニタして制御を行う方式であり、光信号のビットレート、NRZやRZ等の信号フォーマット、波長チャージングなどに依存した回路であるため、いわゆるビットレートフリー、フォーマットフリーへの対応が困難である。

【0008】本発明は、上記のような問題点に着目してなされたもので、光伝送路の分散特性に起因した波形劣化の自動補償を簡易に行うことが可能な分散補償方法を実現し、小型で低コストの分散補償装置および光伝送システムを提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するため本発明による分散補償方法は、光伝送路の波長分散特性および偏波分散特性に少なくとも起因して発生する光信号の波形劣化を補償する分散補償方法であって、光伝送路を介して入力される光信号の光学特性を可変の補償量に応じて変化させて波形劣化を補償する過程と、該波形劣化が補償された光信号の符号誤りに関する情報を生成する過程と、該生成された符号誤りに関する情報に基

づいて、光信号の符号誤りが低減されるように波形劣化を補償する過程での補償量を制御する過程と、を含んでなる方法である。また、上記の波形劣化を補償する過程では、可変分散補償器を用いて光信号の波長分散が補償され、該波長分散と光信号に予め与えられたチャープングとの相互作用によるパルス整形効果に応じて光信号の偏波分散も同時に補償されるようにするのが好ましい。

【0010】かかる分散補償方法によれば、光信号の符号誤りに関する情報に基づいて波形劣化の補償量をフィードバック制御するようにしたことで、光伝送路の波長分散および偏波分散に起因した光信号波形の劣化が簡便な制御方法により容易に補償できるようになる。特に、可変分散補償器を用いて波形劣化の補償を行うようにすれば、光信号の波長分散および偏波分散を一括して補償することが可能である。

【0011】上記分散補償方法の符号誤り情報を生成する過程における具体的な手順としては、波形劣化が補償された光信号の符号誤り率を検出するようにしてもよい。また、光伝送路を介して入力される光信号に誤り訂正符号を適用するときには、誤り訂正処理前の符号誤りに関する情報を生成するようにしても、或いは、誤り訂正処理時の誤り訂正数を検出するようにしてもよい。

【0012】上記分散補償方法の補償量を制御する過程における具体的な手順としては、初期設定時に、波形劣化の補償量を予め設定した範囲で掃引して、符号誤りに関する情報を基に判断した符号誤りが最も少なくなる点に波形劣化の補償量を設定し、運用時には、符号誤りに関する情報を基に判断した符号誤りが予め設定した閾値以上になったとき、波形劣化の補償量を予め設定した刻み幅に従って符号誤りが減少する方向に順次変化させ、符号誤りが最も少なくなる点に波形劣化の補償量を再設定するようにしてもよい。

【0013】これにより、初期設定時およびサービス運用時の各制御モードに応じて、波形劣化の補償量が最適制御されるようになる。さらに、上記の分散補償方法については、符号誤り情報を生成する過程が予め設定した測定周期で符号誤りを検出するようにし、補償量を制御する過程が、運用時、検出された符号誤りが相対的に多い状態で、1測定周期内の符号誤り検出数を基に符号誤り率を判断して波形劣化の補償量を制御し、検出された符号誤りが相対的に少ない状態では、所定個数の符号誤りが検出されるまでに要する測定周期数を基に符号誤り率を判断して波形劣化の補償量を制御するようにしてもよい。このような制御方法にすることで、運用時に符号誤りの発生が少ない状態で最適制御が可能になるとともに、符号誤りの多い状態では高速に制御され、波形劣化によるサービスへのインパクト（符号誤りの発生）を小さくすることができる。も、波形劣化補償量の最適化制御を高速に行うことが可能になる。

【0014】加えて、上記の分散補償方法については、

光伝送路を介して入力される光信号が、波長の異なる複数のチャネル光を含んだ波長多重光信号であるとき、波形劣化の補償およびその補償量の制御が、各チャネル光に対応させてそれぞれ行われるようにするか、或いは、複数のチャネル光について一括して行われるようにしてもよい。これにより、波長多重光信号についての波長分散および偏波分散に伴う波形劣化を容易に補償することが可能になる。

【0015】上述したような本発明による分散補償方法は、大容量、長距離の光通信に使用される分散補償装置および光伝送システムに適用することが可能である。

【0016】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。図1は、本発明の実施の形態にかかる分散補償装置の構成を示すブロック図である。図1において、本分散補償装置1は、例えば、入力される光信号の波長分散を補償する波形劣化補償部としての可変分散補償器10と、可変分散補償器10から出力される光信号の符号誤りに関する情報（以下、符号誤り情報とする）を生成する符号誤り情報生成部としての光受信回路11および符号誤り情報モニタ回路12と、符号誤り情報モニタ回路12で生成された符号誤り情報に基づいて、可変分散補償器10の波長分散値（補償量）を制御する制御部としての制御回路13とを備えて構成される。

【0017】可変分散補償器10に入力される光信号は、図1には示していないが光伝送路を介して入力されるものであって、上記光伝送路の分散特性に起因して波形劣化が生じるような、例えば40Gb/s等の高速ビットレート（40 G b / s）の光信号である。可変分散補償器10は、入力光の波長分散を可変に補償することが可能な公知の光デバイスである。具体的には、例えば、上述したようなVIPA（Virtually-Imaged-Phased-Array）デバイスや、FBG（Fiber-Bragg-Grating）を利用した光デバイスなどを用いることが可能である。この可変分散補償器10では、後述するように、入力光の波長分散補償と同時に偏波分散補償が行われる。

【0018】光受信回路11は、可変分散補償器10から出力される光信号を受光して電気信号に変換し、クロック再生およびデータ識別等の公知の受信処理を行い、その処理結果を示す受信データ信号を符号誤り情報モニタ回路12に出力するものである。符号誤り情報モニタ回路12は、光受信回路11からの受信データ信号について符号誤り率等を測定し、その測定結果を符号誤り情報として制御回路13に出力する。符号誤り率を測定する具体的な方法としては、例えば、受信データ信号のパリティチェックを行って符号誤りを判断する方法や、SONET或いはSHDに準拠した信号のB1またはB2バイトを使用する方法などの公知の測定方法を適用することが可能である。

【0019】また、符号誤り情報モニタ回路12は、可変分散補償器10に入力される光信号に誤り訂正符号を適用する場合には、例えば図2に示すように、光受信回路11からの受信データ信号について、誤り訂正処理回路14で実行される誤り訂正処理前における符号誤りを測定し、その測定結果を符号誤り情報として制御回路13に出力するか、または、図3に示すように、誤り訂正処理回路14での誤り訂正処理時に検出される誤り訂正数を符号誤り情報として制御回路13に出力するのが望ましい。このように入力光に誤り訂正符号を適用する場合に、誤り訂正処理前の状態で誤り率を測定したり、誤り訂正処理時の誤り訂正数を利用したりすることで、サービスへのインパクト（符号誤りの発生）を小さく抑えることが可能になる。

【0020】制御回路13は、符号誤り情報モニタ回路12または誤り訂正処理回路14から送られてくる符号誤り率または誤り訂正数等の符号誤り情報に基づいて、可変分散補償器10から出力される光信号の符号誤りが低減されるように、可変分散補償器10における波長分散の補償量を自動制御する。この制御回路13で行われる具体的な制御方法については後述する。

【0021】ここで、上記の分散補償装置の動作について説明する。まず、光伝送路の波長分散および偏波分散に起因した光信号波形の劣化に対する補償作用について説明する。波長分散による光信号波形の劣化は、矩形のパルス波形を有する光信号が光ファイバ等を用いて構成された光伝送路を伝搬されると、光伝送路の波長分散特性に伴い光の伝搬時間が波長成分によって異なるようになるため、伝送後の光信号波形は時間軸上で広がったり圧縮したりしてしまう。この波長分散によるパルス波形の劣化は、光伝送路の波長分散特性とは逆の波長分散特性を有する分散補償器に光信号を通すことで補償され、送信時と同様の矩形のパルス波形が再現されるようになる。

【0022】一方、偏波分散による光信号波形の劣化は、図4に示すように、直交する偏波成分Aおよび偏波成分Bがそれぞれ矩形のパルス波形を有するような光信号が光伝送路を伝搬されると、光伝送路の偏波分散特性に伴い各偏波成分A、Bの伝搬時間に差が生じるため、各偏波成分A、Bを合成した伝送後の光信号波形は時間軸上で広がってしまう。なお、図4では、説明の簡単化のために光伝送路の波長分散特性に伴う波形変化を省略している。この偏波分散によるパルス波形の劣化は、例えば、分散補償器の分散値を適切に設定することで、その分散値と光信号に予め与えられた波長チャーピングとにより生じるパルス圧縮効果によって補償されて、各偏波成分A、Bを合成した補償後の光信号波形は、送信時と実質的に同様な矩形パルスが再現されるようになる。

【0023】実際の偏波分散による光信号波形の劣化は、光ファイバの偏波主軸の長手方向の分布や、偏波分

散量の長手方向のばらつき、光信号の偏波の変動、高次の偏波分散等の現象が絡み合って光信号波形を歪ませるものである。このため、偏波分散による光信号波形の劣化を完全に補償することは困難である。しかし、偏波分散により波形が広がる場合には分散補償器の設定によりパルス圧縮を生じさせ、偏波分散により波形が圧縮される場合には分散補償器の設定によりパルス広がりを生じさせることにより、波形劣化の改善を図ることができる。パルス圧縮およびパルス広がり、光信号パルスの波長チャーピングの符号、すなわち、パルスの立上がりから立下がりにかけて波長が短波から長波へ変化するか、逆に長波から短波に変化するかの状態と、光伝送路の波長分散および分散補償器の波長分散を合わせた分散値の大きさと符号（正負）とにより変化させることができる。なお、波長チャーピングは、光送信部の光変調器および光ファイバの非線形効果（自己位相変調）により発生するものである。

【0024】上記のような波長分散および偏波分散に起因した波形劣化は、いずれも伝送光の符号誤りに影響を及ぼすことになる。従って、光信号の符号誤りをモニタし、そのモニタ結果が低減されるように分散補償器の波長分散値を最適設定してやることで、結果的に、光信号の波長分散および偏波分散の双方を同時に補償できることになる。この際、光伝送路の波長分散に対しては、分散補償器の波長分散値が光伝送路の波長分散をほぼ相殺する値となるように設定することで補償されるが、さらに、偏波分散による波形劣化を補償するためには、分散補償器の波長分散値が光伝送路の波長分散をほぼ相殺する値から少しずれるように設定することになる。このように、光伝送路の波長分散による波形劣化も偏波分散による波形劣化も基本的にはパルスの広がりまたは圧縮の変化であるため、双方の原因による波形劣化を可変分散補償器10で一括して補償し、光信号波形の最適化を図ることが簡便である。

【0025】次に、制御回路13で行われる具体的な制御方法について説明する。制御回路13による可変分散補償器10の制御には、初期設定時およびサービス運用時の2つの制御モードがある。初期設定時の制御モードでは、例えば、光伝送路の長さ、使用される光ファイバ等の種類、伝送される光信号の波長および光ファイバの特性ばらつき等に応じて、可変分散補償器10の波長分散を最適値に設定するための制御が実行される。

【0026】具体的には、初期設定時の制御モードが開始されると、可変分散補償器10の波長分散値を予め設定した範囲で掃引させる制御信号が、制御回路13から可変分散補償器10に出力される。そして、可変分散補償器10から出力される光信号についての符号誤り情報が、符号誤り情報モニタ回路12で逐次生成されて制御回路13に伝えられる。ここでは、例えば、可変分散補償器10から光受信回路11を介して出力される受信信

号について、予め設定した測定周期における符号誤りの発生数（符号誤り率）が符号誤り情報モニタ回路 12 により測定され、可変分散補償器 10 の各波長分散値に対応した符号誤り率の情報を基にして、可変分散補償器 10 の波長分散の最適値が制御回路 13 で求められる。

【0027】この最適値の設定は、例えば図 5 に示すように、符号誤り率が最低になる点が判明する場合には、その最低点での可変分散補償器 10 の波長分散を最適値として設定する。一方、符号誤り率の最低点が判明しない場合には、測定された符号誤り率が予め設定した符号誤り率の閾値（例えば、誤り率  $10^{-3}$  等）を横切る 2 点での可変分散補償器 10 の各波長分散値の中央（平均値）等に最適値を設定すればよい。このように、符号誤り情報モニタ回路 12 で得られる符号誤り情報に応じて可変分散補償器 10 の波長分散を最適値に設定することにより、波長分散および偏波分散を含めて総合的に最適化された光信号波形が得られる初期設定が実現されるようになる。

【0028】サービス運用時の制御モードでは、温度変動に伴う光伝送路の波長分散の変化および偏波分散の変化等によって生じる波形変化に応じて可変分散補償器 10 の波長分散値を変化させることで、波形劣化を最小に抑える制御が行われる。具体的には、サービス運用中に、上記のような温度変動等に伴う光信号波形の劣化が進むとやがて符号誤りが発生する。そこで、符号誤り情報モニタ回路 12 で測定される符号誤り率が、再設定動作開始閾値として予め設定した符号誤り率を超えた場合に、可変分散補償器 10 の波長分散値の制御動作を開始する。ここでは、例えば可変分散補償器 10 の波長分散値を予め設定した刻み幅に従って符号誤り情報モニタ回路 12 で測定される符号誤り率が低下する方向に順次変化させる制御信号が、制御回路 13 から可変分散補償器 10 に出力される。なお、可変分散補償器 10 の波長分散値を変化させる刻み幅は、運用中のサービスへの影響を小さく抑えるために、所定の符号誤り率（探索動作閾値）を超えないような十分に狭い幅に設定されているものとする。そして、可変分散補償器 10 の各波長分散値に対応した符号誤り率の情報を基にして、可変分散補償器 10 の波長分散の最適値が制御回路 13 で求められて再設定が行われる。

【0029】この最適値の再設定は、例えば図 6 のように、可変分散補償器 10 の波長分散値と符号誤り率との関係が、初期設定時には点線に示すような曲線であったものが、光伝送路の特性変化等により実線で示すような曲線に変化した場合を想定すると、この変化により、初期設定時における可変分散補償器 10 の波長分散値（旧設定）では符号誤りが増加して、再設定動作開始閾値を超えた時点で再設定動作が開始される。具体的な再設定動作は、前述した初期設定時の場合と同様にして、符号誤り情報モニタ回路 12 で測定される符号誤り率が最低

になる点が制御回路 13 で判断されて、可変分散補償器 10 の波長分散が最適値に設定される。この際、運用中のサービスに与える影響を考慮すると、符号誤り率がより低い状態で再設定動作を行うことが望まれる。一方、符号誤りが多い状態では高速に制御することによりサービスへの影響を小さく抑える必要がある。これらを実現するために次のように符号誤りの相対的な発生状態に応じて制御の切り替えを行うことが有効である。

【0030】すなわち、符号誤りの発生が多い状態では、符号誤り情報モニタ回路 12 で測定される 1 測定周期内の符号誤り検出数を基に、制御回路 13 が符号誤り率を判断して可変分散補償器 10 の波長分散値を高速に制御する。一方、符号誤りの発生が少ない状態では、符号誤り情報モニタ回路 12 で少なくとも 1 つ以上の所定個数の符号誤りが検出されるまでに要する測定周期数を基に、制御回路 13 が符号誤り率を判断して可変分散補償器 10 の波長分散値を制御するようにする。これにより、運用中のサービスに影響を与えることなく、または、運用中のサービスへの影響を最小限に抑えて、可変分散補償器 10 の最適化制御を高速に行うことが可能になる。

【0031】さらに、光信号に誤り訂正符号を適用し、誤り訂正処理を行う前の信号について符号誤り率を測定、或いは、誤り訂正処理時の誤り訂正数を用いて符号誤り率を判断することで、サービスへの影響を回避した高速の分散補償制御が可能である。ただし、上記のようにして可変分散補償器 10 の波長分散値を変化させても、符号誤り情報モニタ回路 12 で測定される符号誤り率が変化しないような場合には、符号誤りの発生原因が光伝送路以外の他の部分で発生していると考えられる。このような場合には、可変分散補償器 10 の波長分散値を元の値に戻すようにすればよい。

【0032】また、本分散補償装置は、波長分散および偏波分散の補償以外に、信号波形に影響を及ぼす、各種回路の特性のばらつき、温度変化、経時変化に対しても有効に作用する。信号波形に影響を与える要因としては、光送信波形、光受信回路の周波数特性、合分波器等の光フィルタ、光ファイバの非線形効果、分散補償装置自身の特性など、送信回路から受信識別するまでに含まれる各種回路の特性およびそれらが複合して生じる波形変化が含まれる。各種回路の特性のばらつきに対しては、初期設定時に総合的に最適な波形および符号誤り率となるように自動的に波形設定するために、システム全体として最高の総合性能を引き出すことが可能である。また、各種特性の温度変化および経時変化に対しても、常に符号誤りが最小となるように最高の性能が出るような波形に自動的に設定される。

【0033】上記のように本実施形態の分散補償装置によれば、可変分散補償器 10 の波長分散を符号誤り情報に基づいて最適値にフィードバック制御するようにした

ことで、光伝送路の波長分散および偏波分散に起因した光信号波形の劣化を簡便な制御方法により一括して補償することが可能になる。具体的には、偏光状態の制御を行わないため、従来のように光ファイバの振動等による偏光状態の変動に追従した高速の偏光制御を行う必要がなく、単一の可変分散補償器 10 の波長分散値を制御するだけで、光信号波形の最適化を実現することができるようになる。また、従来に比べて装置構成が簡略なものになるため、小型化および低コスト化を図ることも可能である。

【0034】次に、本発明による光伝送システムの実施形態について説明する。図 7 は、本発明による光伝送システムの第 1 実施形態の構成を示すブロック図である。図 7 において、本光伝送システムは、光送信装置 OS から送信される光信号を光伝送路 L を介して光受信装置 OR に伝送するシステム構成について、前述の図 1 に示した分散補償装置 1 を光受信装置 OR 内に設けたものである。なお、分散補償装置 1 に対応する部分には同一の符号が付してあり、以下の実施形態でも同様とする。

【0035】光送信装置 OS は、本実施形態では単一の波長の光信号を発生して光伝送路 L に送信する公知の光送信装置である。この光送信装置 OS は、送信光信号にチャープングを付与するチャープング発生回路を有する。また、図示しないが送信光信号に誤り訂正符号を与えるコーダを備えるようにしてもよく、この場合には、送信光に付与される誤り訂正符号に対応したデコーダが光受信装置 OR に設けられる。光伝送路 L は、光ファイバ等を用いて構成され、伝送される光信号に対して光ファイバの種類や長さ等に応じた波長分散および偏波分散を与える。この光伝送路 L は、ここでは図示しないがその途中に光中継装置を配置することも可能である。

【0036】光受信装置 OR は、公知の構成の光受信器に対して前述の図 1 に示した分散補償装置 1 を適用したものであり、より具体的な構成の一例を図 8 に示す。図 8 の構成例では、光伝送路 L からの光信号が光アンプ 20 で所要のレベルまで増幅された後に可変分散補償器 10 に送られる。可変分散補償器 10 の出力光は、光アンプ 21 で可変分散補償器 10 における損失が補償された後に受光素子 11 A に送られ電気信号に変換される。そして、受光素子 11 A の出力信号が増幅回路 11 B で所要のレベルまで増幅され、クロック再生／識別回路 11 C で処理されて受信データ信号が生成される。この受信データ信号は、ここでは直並列変換回路 12 A を介して、前述したデコーダに相当する誤り訂正回路 14 に送られ、誤り訂正処理が行われる。また、誤り訂正回路 14 は、誤り訂正処理前の受信信号についての符号誤り情報、または、誤り訂正処理時の誤り訂正数を制御回路 13 に伝え、この誤り訂正回路 12 B からの符号誤り情報を基に、制御回路 13 が可変分散補償器 10 の波長分散を最適値に制御する。なお、本発明における光受信装置

OR の構成は、図 8 の一例に限定されるものではない。

【0037】このような光伝送システムでは、光受信装置 OR に設けられた可変分散補償器 10 の波長分散値が、前述した場合と同様に初期設定時およびサービス運用時の各制御モードに応じて最適化されることで、光伝送路 L の波長分散特性および偏波分散特性に伴う光信号波形の劣化が自動補償される。これにより、例えば 40 Gb/s 等のような高速の光信号を長距離にわたって安定して伝送できる光伝送システムの実現が可能になる。

【0038】次に、本発明による光伝送システムの第 2 実施形態について説明する。図 9 は、本発明による光伝送システムの第 2 実施形態の構成を示すブロック図である。図 9 において、本実施形態の光伝送システムは、波長の異なる複数のチャネル光を含んだ波長多重 (WDM) 光信号が光送信装置 OS から光伝送路 L を介して光受信装置 OR に伝送される、いわゆる WDM 光伝送システムに本発明を適用したものである。具体的には、光送信装置 OS が、 $n$  波のチャネル光にそれぞれ対応した光送信回路 30<sub>1</sub>, 30<sub>2</sub>, ..., 30<sub>n</sub> と、各光送信回路 30<sub>1</sub> ~ 30<sub>n</sub> から出力される各々の波長のチャネル光 C<sub>h</sub>(1) ~ C<sub>h</sub>( $n$ ) を合波して光伝送路 L に送信する光合波器 31 とを有する。なお、各光送信回路 30<sub>1</sub> ~ 30<sub>n</sub> は、ここでは図示しないがチャープング発生回路をそれぞれ備えているものとする。また、光受信装置 OR は、光伝送路 L からの WDM 光信号を各波長のチャネル光 C<sub>h</sub>(1) ~ C<sub>h</sub>( $n$ ) にそれぞれ分波する光分波器 15 を有し、その光分波器 15 から出力される各チャネル光 C<sub>h</sub>(1) ~ C<sub>h</sub>( $n$ ) に対応させて、上述の図 1 に示した分散補償装置 1 の構成をそれぞれ適用したものである。ただし、ここでは各チャネル光 C<sub>h</sub>(1) ~ C<sub>h</sub>( $n$ ) に対応した可変分散補償器 10<sub>1</sub> ~ 10<sub>n</sub> の波長分散値を制御する制御回路 13 を、各チャネル光 C<sub>h</sub>(1) ~ C<sub>h</sub>( $n$ ) で共用化して構成の簡略化を図っている。

【0039】各可変分散補償器 10<sub>1</sub> ~ 10<sub>n</sub> と制御回路 13 の具体的な構成としては、例えば図 10 に示すように、各々の可変分散補償器 10<sub>1</sub> ~ 10<sub>n</sub> を駆動するための電源回路までを共用化して制御回路 13 に設けるようにしてもよい。図 11 は、上記の場合における制御回路 13 のより具体的な回路構成例を示すものである。図 11 の制御回路 13 では、各チャネル光 C<sub>h</sub>(1) ~ C<sub>h</sub>( $n$ ) にそれぞれ対応した符号誤り情報モニタ回路 12<sub>1</sub> ~ 12<sub>n</sub> から送られてくる各符号誤り情報が監視制御回路 13 A でモニタされる。この監視制御回路 13 A では、各符号誤り情報のモニタ結果を基に、可変分散補償器 10<sub>1</sub> ~ 10<sub>n</sub> のうちから波長分散値の制御を行う可変分散補償器が選択され、その可変分散補償器の波長分散値を最適化するための制御信号が分散補償器駆動回路 13 B に出力されるとともに、選択した可変分散補償器を示す C<sub>h</sub> 選択信号がスイッチ回路 13 C に出力される。



具体的な監視制御方法としては、例えば、初期設定時は、最適化制御を行う可変分散補償器を順次切り替えるようにし、該当するチャンネル光の符号誤り情報に基づき可変分散補償器の設定動作を行う。また、サービス運用時は、すべてのチャンネル光についての符号誤り情報を常時モニタし、再設定動作開始閾値を超える符号誤りが発生したチャンネル光に対応する可変分散補償器について波長分散値の最適制御を行うようにする。なお、複数のチャンネル光の符号誤りが同時に再設定動作開始閾値を超えた場合には、符号誤り率のより高いチャンネル光に対応する可変分散補償器について優先的に最適制御を行うものとする。

【0040】監視制御回路13Aからの制御信号を受けた分散補償器駆動回路13Bでは、その制御信号に従って可変分散補償器を駆動する駆動信号が電源回路13Dからの電力供給を受けて生成されスイッチ回路13Cに出力される。スイッチ回路13Cでは、分散補償器駆動回路13Bからの駆動信号が、Ch選択信号に従って該当する可変分散補償器に送られる。ここでは、電源回路13Dの電力が、監視制御回路13Aおよびスイッチ回路13Cを駆動するためにも利用される。

【0041】なお、上記制御回路13の回路構成例では、各可変分散補償器10<sub>1</sub>～10<sub>n</sub>の駆動回路も共用化するようにしているが、例えば図12に示すように、駆動回路については各可変分散補償器10<sub>1</sub>～10<sub>n</sub>に個別に設けても構わない。また、各可変分散補償器10<sub>1</sub>～10<sub>n</sub>と制御回路13の他の具体的な構成としては、例えば図13に示すように、各可変分散補償器10<sub>1</sub>～10<sub>n</sub>について待機制御用としての副電源回路をそれぞれ設け、設定変更制御用としての主電源回路を共用化して制御回路13内に設けるようにすることも可能である。この場合の制御回路13についての具体的な回路構成は、上記図11に示した場合と同様に同様である。

【0042】このように第2実施形態の光伝送システムによれば、WDM光信号の伝送を行うシステムについても、各波長のチャンネル光Ch(1)～Ch(n)にそれぞれ対応させて可変分散補償器10<sub>1</sub>～10<sub>n</sub>を設け、各可変分散補償器10<sub>1</sub>～10<sub>n</sub>の波長分散値を各々の符号誤り情報を基に最適制御するようにしたこと、各チャンネル光の波長分散および偏波分散に伴う波形劣化を自動的に補償することができる。さらに、各可変分散補償器10<sub>1</sub>～10<sub>n</sub>の波長分散値を制御する制御回路13並びに電源回路および駆動回路等を共用化することで、光受信装置ORが簡略な構成になるため一層の小型化および低コスト化を図ることができる。これにより、例えば40Gb/s等の長距離光伝送システムの実用化をこれまで阻害していた、分散補償部分のサイズおよびコストに関する問題を大幅に軽減することが可能になる。

【0043】なお、上記第2実施形態の光伝送システムでは、各可変分散補償器10<sub>1</sub>～10<sub>n</sub>に対応した制御回

路13および電源回路を共用化するようにしたが、本発明は、図14および図15に示すように制御回路および電源回路を可変分散補償器10<sub>1</sub>～10<sub>n</sub>ごとにそれぞれ設けるようにしてもよい。この場合、上記第2実施形態と比較して多少構成が複雑にはなるが、従来のように波長分散補償と偏波分散補償を個別に行う構成に比べれば、十分に簡略な構成で簡単な補償制御が可能になる。

【0044】また、上記第2実施形態の光伝送システムでは、すべてのチャンネル光Ch(1)～Ch(n)について共用化した1つの制御回路13を設けるようにしたが、本発明はこれに限らず、例えば図16に示すように、システムに使用されるチャンネル光をm波ごとのサブセットにグループ化して、それぞれのサブセットごとに制御回路や電源回路等を共用化する応用も可能である。

【0045】次に、本発明による光伝送システムの第3実施形態について説明する。図17は、本発明による光伝送システムの第3実施形態の構成を示すブロック図である。図17において、本光伝送システムは、前述の図9に示した第2実施形態のシステム構成について、光送信装置OS側にも、各チャンネル光Ch(1)～Ch(n)に対応させて可変分散補償器32<sub>1</sub>, 32<sub>2</sub>, ..., 32<sub>n</sub>を設けるとともに、それら可変分散補償器32<sub>1</sub>～32<sub>n</sub>の各波長分散値を制御する制御回路33を設けたものである。上記以外の光送信装置OSの他の部分の構成、並びに、光受信装置ORおよび光伝送路Lの各構成は第2実施形態の場合と同様である。

【0046】光送信装置OS側に設けられる各可変分散補償器32<sub>1</sub>～32<sub>n</sub>は、光受信装置OR側の各可変分散補償器10<sub>1</sub>～10<sub>n</sub>と同様に、入力光の波長分散を可変に補償することが可能な公知の光デバイスであって、具体的には、例えばVIPAデバイスや、FBGを利用した光デバイスなどを用いることが可能である。制御回路33は、例えば図18の具体的な回路構成図に示すように、光送信装置OS外部または光受信装置ORから送られてくる分散補償器制御情報が監視制御回路33Aに入力されてモニタされる。この監視制御回路33Aでは、分散補償器制御情報に従って、可変分散補償器32<sub>1</sub>～32<sub>n</sub>のうちから波長分散値の制御を行う可変分散補償器が選択され、その可変分散補償器の波長分散値を制御するための制御信号が分散補償器駆動回路33Bに出力されるとともに、選択した可変分散補償器を示すCh選択信号がスイッチ回路33Cに出力される。分散補償器駆動回路33Bでは、監視制御回路33Aからの制御信号に従って可変分散補償器を駆動する駆動信号が電源回路33Dからの電力供給を受けて生成されスイッチ回路33Cに出力される。スイッチ回路33Cでは、分散補償器駆動回路33Bからの駆動信号が、Ch選択信号に従って該当する可変分散補償器に送られる。ここでは、電源回路33Dの電力が、監視制御回路33Aおよびスイッチ回路33Cを駆動するためにも利用される。な

お、図 18 の構成例では、各可変分散補償器 32<sub>1</sub>～32<sub>n</sub> の駆動回路および電源回路を共用化するようにしているが、前述の図 12 や図 13 に示した場合と同様に、駆動回路や電源回路を可変分散補償器 32<sub>1</sub>～32<sub>n</sub> ごとに設けるようにしてもよい。

【0047】上記のような光伝送システムでは、例えば、光受信装置 OR 側の各可変分散補償器 10<sub>1</sub>～10<sub>n</sub> における分散補償量との組み合わせにより光波形の劣化が最も小さくなるように、各可変分散補償器 32<sub>1</sub>～32<sub>n</sub> の波長分散値が設定される。各可変分散補償器 32<sub>1</sub>～32<sub>n</sub> の波長分散値は、外部から与えられる分散補償器制御情報に従って設定されるか、または、光受信装置 OR から送られてくる分散補償器制御情報に従い受信側の分散補償状態に応じて随時制御される。

【0048】このように第 3 実施形態によれば、波長分散および偏波分散に伴う光信号波形の劣化が、光受信装置 OR 側だけでなく光送信装置 OS 側でも補償できるようにしたことで、より広い範囲の分散補償が可能になる。なお、上記第 3 実施形態の光伝送システムでは、各可変分散補償器 32<sub>1</sub>～32<sub>n</sub> に対応した制御回路および電源回路を共用化するようにしたが、前述の図 14 および図 15 に示した場合と同様に、制御回路および電源回路を可変分散補償器 32<sub>1</sub>～32<sub>n</sub> ごとにそれぞれ設けるようにしてもよい。また、WDM 光信号が伝送されるシステム構成としたが、第 1 実施形態の光伝送システムの場合のように単一波長の光信号が伝送されるシステムについても、光送信装置側に可変分散補償器を設けることが可能である。

【0049】次に、本発明による光伝送システムの第 4 実施形態について説明する。図 19 は、本発明による光伝送システムの第 4 実施形態の構成を示すブロック図である。図 19 において、本光伝送システムは、複数のチャネル光 Ch (1)～Ch (n) を含んだ WDM 光信号が光送信装置 OS から光伝送路 L を介して光受信装置 OR に伝送される WDM 光伝送システムについて、光受信装置 OR 側に、各チャネル光 Ch (1)～Ch (n) の分散補償を一括して行う可変分散補償器 10 を設け、可変分散補償器 10 の波長分散値が、各チャネル光 Ch (1)～Ch (n) に対応した符号誤り情報を基にして制御回路 13 により制御されるようにしたものである。

【0050】可変分散補償器 10 は、例えば光分波器 15 の前段に挿入され、光受信装置 OR に入力される WDM 光信号の波長分散を一括して補償することが可能な公知の光デバイスである。具体的には、例えば、上述したような VIPA デバイスや、FBG を利用した光デバイスなどを用いることが可能である。制御回路 13 は、各チャネル光 Ch (1)～Ch (n) に対応した各々の符号誤り情報モニタ回路 12<sub>1</sub>～12<sub>n</sub> からの符号誤り情報を基にして、ここでは、例えばすべてのチャネル光 Ch (1)～Ch (n) における符号誤りの総和を求め、そ

の符号誤りの総和の値が小さくなるように、可変分散補償器 10 の波長分散値を最適制御する。可変分散補償器 10 の波長分散値の具体的な制御方法は、前述した各チャネル光に個別対応した可変分散補償器の波長分散の制御方法と同様にして考えることができる。

【0051】上記のような光伝送システムによれば、WDM 光信号の分散補償を可変分散補償器 10 を用いて一括して行うようにしたことで、各チャネル光 Ch (1)～Ch (n) に対応させて設けていた可変分散補償器等が大幅に削減されるため、光受信装置 OR の低コスト化および小型化を図ることができる。このような一括して分散補償を行うの構成は、特に、波長分散補償に有効である。

【0052】なお、上記の第 4 実施形態では、制御回路 13 において、すべてのチャネル光 Ch (1)～Ch (n) における符号誤りの総和を求めるようにしたが、本発明はこれに限られるものではない。例えば、チャネル光 Ch (1)～Ch (n) のうちから予め設定しておいた複数のチャネル光における符号誤りの総和を求め、可変分散補償器 10 の制御を行うようにしてもよい。予め設定される複数のチャネル光としては、可変分散補償器 10 の一括補償に対して信号波形の劣化が発生し易いチャネル光（例えば、信号光帯域の両端に位置するチャネル光など）を設計段階で想定して設定することが可能である。また例えば、チャネル光 Ch (1)～Ch (n) のうちで信号波形劣化の最も発生し易いチャネル光を特定して、そのチャネル光における符号誤を基にして、可変分散補償器 10 の波長分散値を制御することも可能である。

【0053】次に、本発明による光伝送システムの第 5 実施形態について説明する。図 20 は、本発明による光伝送システムの第 5 実施形態の構成を示すブロック図である。図 20 において、本光伝送システムは、前述の図 19 に示した第 4 実施形態のシステム構成について、光送信装置 OS 側にも、各チャネル光 Ch (1)～Ch (n) の分散補償を一括して行う可変分散補償器 32 および該可変分散補償器 10 の波長分散値を制御する制御回路 33 を設けるようにしたものである。上記以外の光送信装置 OS の他の部分の構成、並びに、光受信装置 OR および光伝送路 L の各構成は第 4 実施形態の場合と同様である。

【0054】光送信装置 OS 側に設けられる可変分散補償器 32 は、光受信装置 OR 側の可変分散補償器 10 と同様に、入力される WDM 光信号の波長分散を一括して補償することが可能な公知の光デバイスであって、具体的には、例えば VIPA デバイスや、FBG を利用した光デバイスなどを用いることが可能である。ここでは、光合波器 31 の後段に可変分散補償器 32 を挿入するようにしている。

【0055】制御回路 33 は、例えば、可変分散補償器

32の波長分散値をプロビジョニング設定する。このプロビジョニング設定は、可変分散補償器32の波長分散値を初期設定時にのみ最適制御し、運用時には可変制御を行わずに一定値に設定するものである。このように第5実施形態によれば、光伝送路Lの分散に伴う光信号波形の劣化が、光受信装置OR側だけでなく光送信装置OS側でも一括補償できるようにしたことで、より広い範囲の分散補償が可能になるとともに、光送信装置OSの低コスト化および小型化を図ることができる。

【0056】なお、上記の第5実施形態では、光送信装置OS側の制御回路33が可変分散補償器32の波長分散値をプロビジョニング設定するようにしたが、本発明はこれに限られるものではない。例えば、図21に示すように、光受信装置OR側の制御回路13から光送信装置OS側の制御回路33に分散補償器制御情報を送るようして、送信側の可変分散補償器32の自動制御を行うようにしてもよい。この場合の送信側の可変分散補償器32の自動制御方法としては、例えば、受信側の可変分散補償器10の最適制御のみでは符号誤り率が十分に下らない場合に限って送信側の可変分散補償器32の波長分散値を最適制御する方法や、光受信装置OR側でモニタされる符号誤り情報に基づいて、送信側についても受信側と同様にして、初期設定時および運用時に可変分散補償器32の波長分散値を最適制御する方法などが考えられる。

【0057】（付記1） 光伝送路の分散特性に起因して発生する光信号の波形劣化を補償する分散補償方法であって、光伝送路を介して入力される光信号の光学特性を可変の補償量に応じて変化させて波形劣化を補償する過程と、該波形劣化が補償された光信号の符号誤りに関する情報を生成する過程と、該生成された符号誤りに関する情報に基づいて、前記光信号の符号誤りが低減されるように前記波形劣化を補償する過程での補償量を制御する過程と、を含んでなることを特徴とする分散補償方法。

【0058】（付記2） 付記1に記載の分散補償方法であって、前記波形劣化を補償する過程では、可変分散補償器を用いて光信号の波長分散が補償され、該波長分散と光信号に予め与えられたチャープととの相互作用によるパルス整形効果に応じて光信号の偏波分散も同時に補償されることを特徴とする分散補償方法。

【0059】（付記3） 付記1に記載の分散補償方法であって、前記符号誤り情報を生成する過程では、前記波形劣化が補償された光信号の符号誤り率が検出されることを特徴とする分散補償方法。

【0060】（付記4） 付記1に記載の分散補償装置であって、前記光伝送路を介して入力される光信号に誤り訂正符号を適用し、前記符号誤り情報を生成する過程では、前記波形劣化が補償された光信号について、誤り訂正処理回路で実行される誤り訂正処理前の符号誤りに

関する情報が生成されることを特徴とする分散補償方法。

【0061】（付記5） 付記1に記載の分散補償方法であって、前記光伝送路を介して入力される光信号に誤り訂正符号を適用し、前記符号誤り情報を生成する過程では、前記波形劣化が補償された光信号について、誤り訂正処理回路で実行される誤り訂正処理時の誤り訂正数が検出されることを特徴とする分散補償方法。

【0062】（付記6） 付記1に記載の分散補償方法であって、前記補償量を制御する過程では、初期設定時に、前記波形劣化の補償量を予め設定した範囲で抽引して、前記符号誤りに関する情報を基に判断した符号誤りが最も少なくなる点に前記波形劣化の補償量を設定し、運用時には、前記符号誤りに関する情報を基に判断した符号誤りが予め設定した閾値以上になったとき、前記波形劣化の補償量を予め設定した刻み幅に従って前記符号誤りが減少する方向に順次変化させ、前記符号誤りが最も少なくなる点に前記波形劣化の補償量を再設定することを特徴とする分散補償方法。

【0063】（付記7） 付記6に記載の分散補償方法であって、前記符号誤り情報を生成する過程は、予め設定した測定周期で符号誤りを検出し、前記補償量を制御する過程は、運用時、前記検出された符号誤りが相対的に多い状態では、1測定周期内の符号誤り検出数を基に符号誤り率を判断して前記波形劣化の補償量を制御し、前記検出された符号誤りが相対的に少ない状態では、所定個数の符号誤りが検出されるまでに要する測定周期数を基に符号誤り率を判断して前記波形劣化の補償量を制御することを特徴とする分散補償方法。

【0064】（付記8） 付記1に記載の分散補償方法であって、前記光伝送路を介して入力される光信号が、波長の異なる複数のチャネル光を含んだ波長多重光信号であるとき、前記波形劣化の補償および該補償量の制御が、前記各チャネル光に対応させてそれぞれ行われることを特徴とする分散補償方法。

【0065】（付記9） 付記1に記載の分散補償方法であって、前記光伝送路を介して入力される光信号が、波長の異なる複数のチャネル光を含んだ波長多重光信号であるとき、前記波形劣化の補償および該補償量の制御が、前記複数のチャネル光について一括して行われることを特徴とする分散補償方法。

【0066】（付記10） 付記9に記載の分散補償方法であって、前記補償量を制御する過程は、前記複数のチャネル光すべてにおける符号誤りの総和に基づいて、前記波形劣化を補償する過程での補償量を制御することを特徴とする分散補償方法。

【0067】（付記11） 付記9に記載の分散補償方法であって、前記補償量を制御する過程は、前記複数のチャネル光のうちの少なくとも2つのチャネル光における符号誤りの総和に基づいて、前記波形劣化を補償する

過程での補償量を制御することを特徴とする分散補償方法。

【0068】(付記12) 付記9に記載の分散補償方法であって、前記補償量を制御する過程は、前記複数のチャネル光のうちの1つのチャネル光における符号誤りに基づいて、前記波形劣化を補償する過程での補償量を制御することを特徴とする分散補償方法。

【0069】(付記13) 付記9に記載の分散補償方法であって、前記光伝送路を介して入力される光信号に誤り訂正符号を適用し、前記符号誤り情報を生成する過程では、前記波形劣化が補償された光信号について、誤り訂正処理回路で実行される誤り訂正処理前の符号誤りに関する情報、および、誤り訂正処理時の誤り訂正数のいずれか一方が生成されることを特徴とする分散補償方法。

【0070】(付記14) 光伝送路の分散特性に起因して発生する光信号の波形劣化を補償する分散補償装置であって、光伝送路を介して入力される光信号の光学特性を可変の補償量に応じて変化させて波形劣化を補償する波形劣化補償部と、該波形劣化補償部で補償された光信号の符号誤りに関する情報を生成する符号誤り情報生成部と、該符号誤り情報生成部で生成された符号誤りに関する情報に基づいて、前記光信号の符号誤りが低減されるように前記波形劣化補償部の補償量を制御する制御部と、を備えて構成されたことを特徴とする分散補償装置。

【0071】(付記15) 付記14に記載の分散補償装置であって、前記波形劣化補償部が、可変分散補償器を用いて光信号の波長分散を補償し、該波長分散と光信号に予め与えられたチャープングとの相互作用によるパルス圧縮効果に応じて光信号の偏波分散も同時に補償することを特徴とする分散補償装置。

【0072】(付記16) 付記15に記載の分散補償装置であって、前記可変分散補償器が、VIPA (Virtually-Imaged-Phased-Array) デバイスを含むことを特徴とする分散補償装置。

【0073】(付記17) 付記15に記載の分散補償装置であって、前記可変分散補償器が、FBG (Fiber-Bragg-Grating) を含むことを特徴とする分散補償装置。

【0074】(付記18) 付記14に記載の分散補償装置であって、前記符号誤り情報生成部は、前記波形劣化補償部で補償された光信号の符号誤り率を検出し、該検出結果を前記制御部に伝えることを特徴とする分散補償装置。

【0075】(付記19) 付記14に記載の分散補償装置であって、前記光伝送路を介して入力される光信号に誤り訂正符号を適用し、前記符号誤り情報生成部は、前記波形劣化補償部で補償された光信号について、誤り訂正処理回路で実行される誤り訂正処理前の符号誤りに

関する情報を生成することを特徴とする分散補償装置。

【0076】(付記20) 付記14に記載の分散補償装置であって、前記光伝送路を介して入力される光信号に誤り訂正符号を適用し、前記符号誤り情報生成部は、前記波形劣化補償部で補償された光信号について、誤り訂正処理回路で実行される誤り訂正処理時の誤り訂正数を検出し、該検出結果を前記制御部に伝えることを特徴とする分散補償装置。

【0077】(付記21) 付記14に記載の分散補償装置であって、前記制御部は、初期設定時に、前記波形劣化補償部の補償量を予め設定した範囲で掃引して、前記符号誤り情報生成部からの符号誤りに関する情報を基に判断した符号誤りが最も少なくなる点に前記波形劣化補償部の補償量を設定し、運用時には、前記符号誤り情報生成部からの符号誤りに関する情報を基に判断した符号誤りが予め設定した閾値以上になったとき、前記波形劣化補償部の補償量を予め設定した刻み幅に従って前記符号誤りが減少する方向に順次変化させ、前記符号誤りが最も少なくなる点に前記波形劣化補償部の補償量を再設定することを特徴とする分散補償装置。

【0078】(付記22) 付記21に記載の分散補償装置であって、前記符号誤り情報生成部が、予め設定した測定周期で符号誤りを検出し、該検出結果を前記制御部に伝えるとき、前記制御部は、運用時、前記符号誤り情報生成部で検出される符号誤りが相対的に多い状態では、1測定周期内の符号誤り検出数を基に符号誤り率を判断して前記波形劣化補償部の補償量を制御し、前記符号誤り情報生成部で検出される符号誤りが相対的に少ない状態では、所定個数の符号誤りが検出されるまでに要する測定周期数を基に符号誤り率を判断して前記波形劣化補償部の補償量を制御することを特徴とする分散補償装置。

【0079】(付記23) 付記14に記載の分散補償装置であって、前記光伝送路を介して入力される光信号が、波長の異なる複数のチャネル光を含んだ波長多重光信号であるとき、前記波長多重光信号を波長に応じて各チャネル光に分波する分波部を備えるとともに、前記波形劣化補償部、前記符号誤り情報生成部および前記制御部が、前記各チャネル光に対応させてそれぞれ複数設けられ、前記分波部で分波された各チャネル光に対応する前記各波形劣化補償部にそれぞれ入力される構成としたことを特徴とする分散補償装置。

【0080】(付記24) 付記23に記載の分散補償装置であって、前記各チャネル光に対応させて設けられた複数の制御部が、少なくとも2つ以上のチャネル光に対応したグループごとに共用化されたことを特徴とする分散補償装置。

【0081】(付記25) 付記24に記載の分散補償装置であって、前記共用化された制御部が、該当するチャネル光に対応した各波形劣化補償部の電源回路を含ん

でいることを特徴とする分散補償装置。

【0082】(付記26) 付記24に記載の分散補償装置であって、前記共用化された制御部が、該当するチャネル光に対応した各波形劣化補償部を駆動する駆動回路を含んでいることを特徴とする分散補償装置。

【0083】(付記27) 付記24に記載の分散補償装置であって、前記各チャネル光に対応させて設けられた複数の波形劣化補償部が、駆動回路および待機制御用副電源回路をそれぞれ含み、前記共用化された制御部が、該当するチャネル光に対応した各波形劣化補償部の設定変更制御用主電源回路を含んでいることを特徴とする分散補償装置。

【0084】(付記28) 付記24に記載の分散補償装置であって、前記共用化された制御部が、該当するチャネル光に対応した各符号誤り情報生成部からそれぞれ送られてくる符号誤りに関する情報を一括して監視し、該監視結果に基づいて、該当するチャネル光に対応した各波形劣化補償部を選択的に駆動して当該補償量を制御することを特徴とする分散補償装置。

【0085】(付記29) 付記14に記載の分散補償装置であって、前記光伝送路を介して入力される光信号が、波長の異なる複数のチャネル光を含んだ波長多重光信号であるとき、前記波形劣化補償部が、前記複数のチャネル光について一括して補償を行うことを特徴とする分散補償装置。

【0086】(付記30) 付記29に記載の分散補償装置であって、前記制御部は、前記複数のチャネル光すべてにおける符号誤りの総和に基づいて、前記波形劣化補償部の補償量を制御することを特徴とする分散補償装置。

【0087】(付記31) 付記29に記載の分散補償装置であって、前記制御部は、前記複数のチャネル光のうちの少なくとも2つのチャネル光における符号誤りの総和に基づいて、前記波形劣化補償部の補償量を制御することを特徴とする分散補償装置。

【0088】(付記32) 付記29に記載の分散補償装置であって、前記制御部は、前記複数のチャネル光のうちの1つのチャネル光における符号誤りに基づいて、前記波形劣化補償部の補償量を制御することを特徴とする分散補償装置。

【0089】(付記33) 付記29に記載の分散補償装置であって、前記光伝送路を介して入力される光信号に誤り訂正符号を適用し、前記符号誤り情報生成部は、前記波形劣化が補償された光信号について、誤り訂正処理回路で実行される誤り訂正処理前の符号誤りに関する情報、および、誤り訂正処理時の誤り訂正数のいずれか一方を生成することを特徴とする分散補償装置。

【0090】(付記34) 光送信装置から送信される光信号を光伝送路を介して光受信装置に伝送する光伝送システムにおいて、前記光受信装置が、付記14に記載

の分散補償装置を備えて構成されることを特徴とする光伝送システム。

【0091】(付記35) 付記34に記載の光伝送システムであって、前記光送信装置側にも可変分散補償器を備えたことを特徴とする光伝送システム。

【0092】(付記36) 付記35に記載の光伝送システムであって、前記光送信装置側の可変分散補償器は、波長分散値がプロビジョニング設定により制御されることを特徴とする光伝送システム。

【0093】(付記37) 付記35に記載の光伝送システムであって、前記光送信装置側の可変分散補償器は、前記光受信装置側での波形劣化補償が不十分な場合に、波長分散が制御されることを特徴とする光伝送システム。

【0094】(付記38) 付記35に記載の光伝送システムであって、前記光送信装置側の可変分散補償器は、前記光受信装置で生成される符号誤りに関する情報に基づいて、波長分散値が制御されることを特徴とする光伝送システム。

【0095】(付記39) 付記35に記載の光伝送システムであって、前記光送信装置から送信される光信号が、波長の異なる複数のチャネル光を含んだ波長多重光信号であることを特徴とする光伝送システム。

【0096】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、光信号の符号誤りに関する情報に基づいて波形劣化の補償量を最適制御するようにしたことで、光伝送路の分散特性に起因した光信号波形の劣化を、簡便な制御方法により容易に補償することができる。これにより分散補償装置の小型化および低コスト化を図ることが可能になり、例えば40Gb/s等の長距離光伝送システムの実用化をこれまで阻害していた分散補償技術に関する問題を大幅に軽減することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態にかかる分散補償装置の構成を示すブロック図である。

【図2】同上実施形態について誤り訂正回路を備えた場合の構成例を示すブロック図である。

【図3】同上実施形態について誤り訂正回路を備えた場合の別の構成例を示すブロック図である。

【図4】本発明における偏波分散補償の概念を単純化して示した図である。

【図5】本発明における可変分散補償器の波長分散を最適値に設定するための制御方法（初期設定時）を説明する図である。

【図6】本発明における可変分散補償器の波長分散を最適値に設定するための制御方法（運用時）を説明する図である。

【図7】本発明による光伝送システムの第1実施形態の構成を示すブロック図である。

【図 8】 同上第 1 実施形態の光伝送システムに用いられる光受信装置の具体的な構成の一例を示すブロック図である。

【図 9】 本発明による光伝送システムの第 2 実施形態の構成を示すブロック図である。

【図 10】 同上第 2 実施形態の光伝送システムにおける各可変分散補償器と制御回路の具体的な構成の一例を示す図である。

【図 11】 図 10 における制御回路の具体的な回路構成例を示す図である。

【図 12】 図 10 の構成に関連して、各可変分散補償器の駆動回路を個別に設けた場合の構成例を示す図である。

【図 13】 本発明の第 2 実施形態の光伝送システムにおける各可変分散補償器と制御回路の他の具体的な構成例を示す図である。

【図 14】 同上第 2 実施形態の光伝送システムに関連して、可変分散補償器ごとに制御回路をそれぞれ設けた場合のシステム構成を示す図である。

【図 15】 図 14 のシステム構成における制御回路および電源回路の構成例を示す図である。

【図 16】 同上第 2 実施形態の光伝送システムに関連して、サブセットごとに制御回路等を共用化した場合の構成例を示す図である。

【図 17】 本発明による光伝送システムの第 3 実施形態の構成を示すブロック図である。

【図 18】 図 17 における光送信装置側の制御回路の具体的な回路構成例を示す図である。

【図 19】 本発明による光伝送システムの第 4 実施形態

の構成を示すブロック図である。

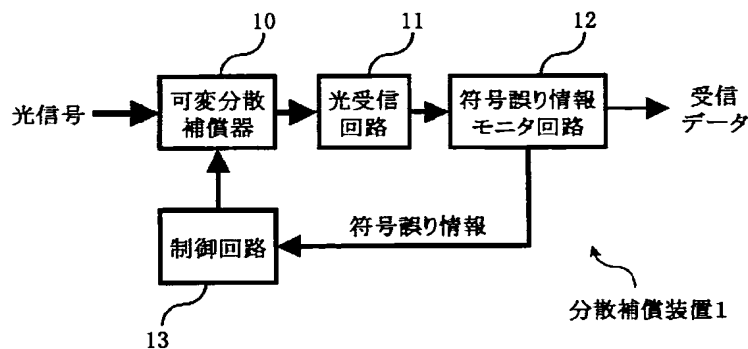
【図 20】 本発明による光伝送システムの第 5 実施形態の構成を示すブロック図である。

【図 21】 同上第 5 実施形態の光伝送システムに関連して、送信側の可変分散補償器も自動制御するようにした場合の構成例を示す図である。

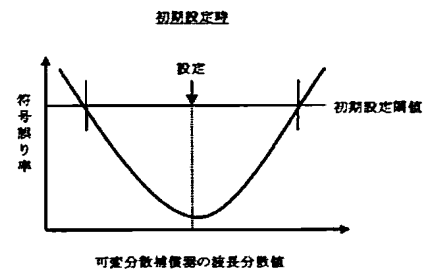
【符号の説明】

1 分散補償装置  
 10, 10<sub>1</sub> ~ 10<sub>n</sub>, 32, 32<sub>1</sub> ~ 32<sub>n</sub> 可変分散補償器  
 11, 11<sub>1</sub> ~ 11<sub>n</sub> 光受信回路  
 11A 受光素子  
 11B 増幅回路  
 11C クロック再生／識別回路  
 12, 12<sub>1</sub> ~ 12<sub>n</sub> 符号誤り情報モニタ回路  
 12A 直並列変換回路  
 13, 33 制御回路  
 13A, 33A 監視制御回路  
 13B, 33B 分散補償器駆動回路  
 13C, 33C スイッチ回路  
 13D, 33D 電源回路  
 14 誤り訂正回路  
 15 光分波器  
 30<sub>1</sub> ~ 30<sub>n</sub> 光送信回路  
 31 光合波器  
 OS 光送信装置  
 OR 光受信装置  
 L 光伝送路

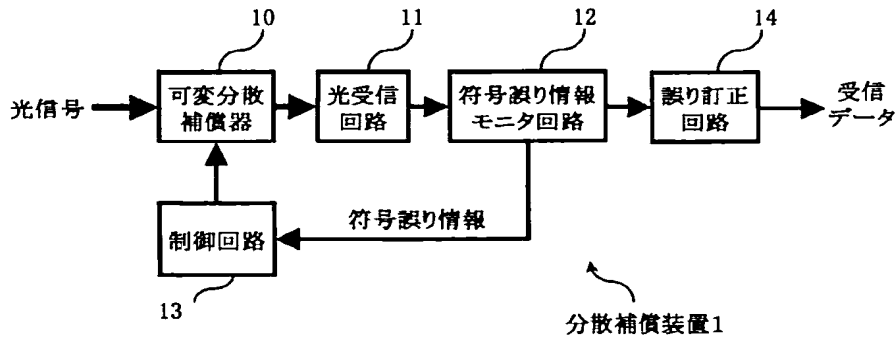
【図 1】



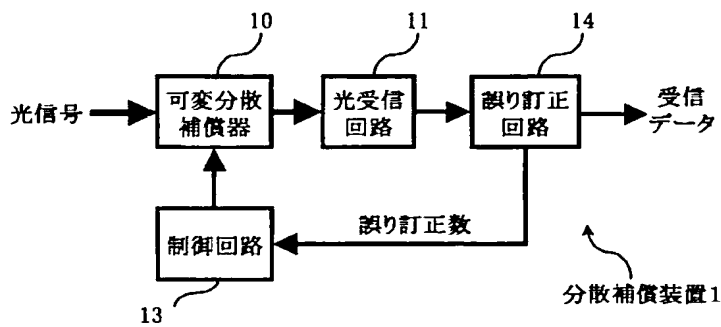
【図 5】



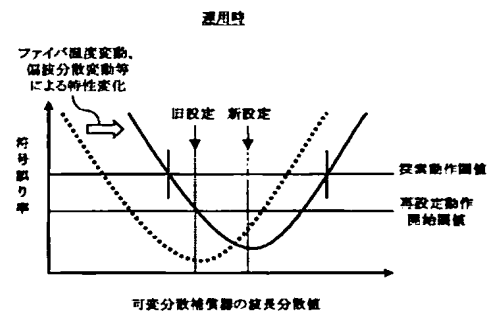
【図2】



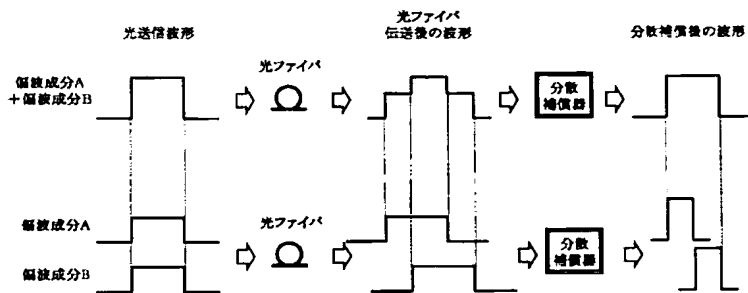
【図3】



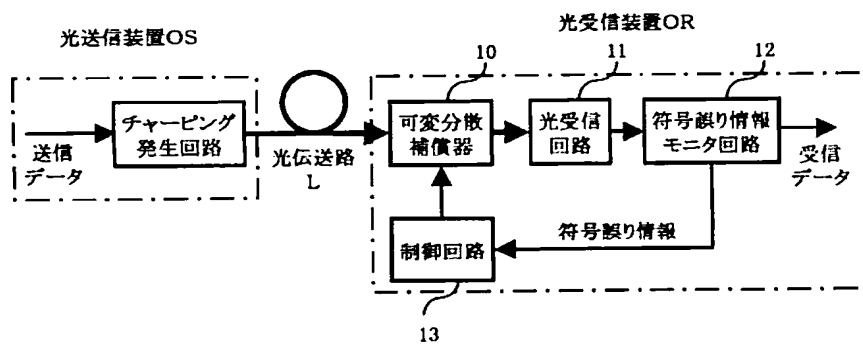
【図6】



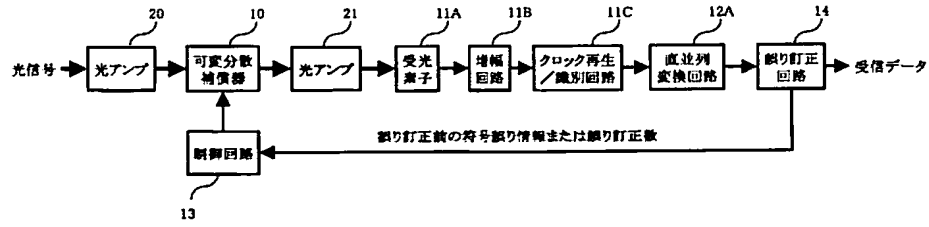
【図4】



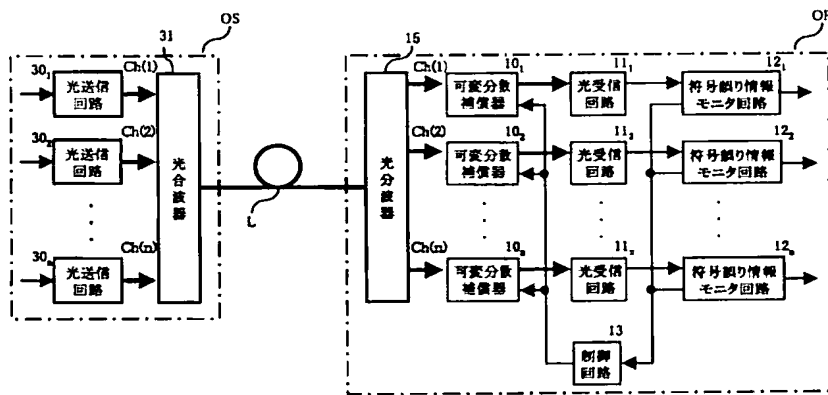
【図7】



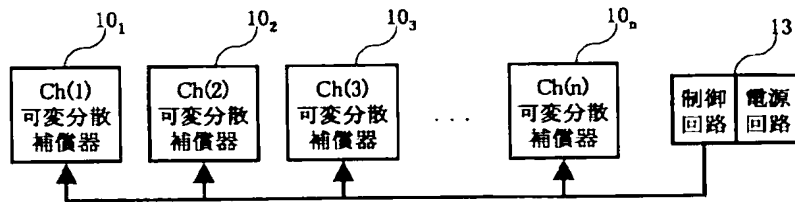
【図 8】



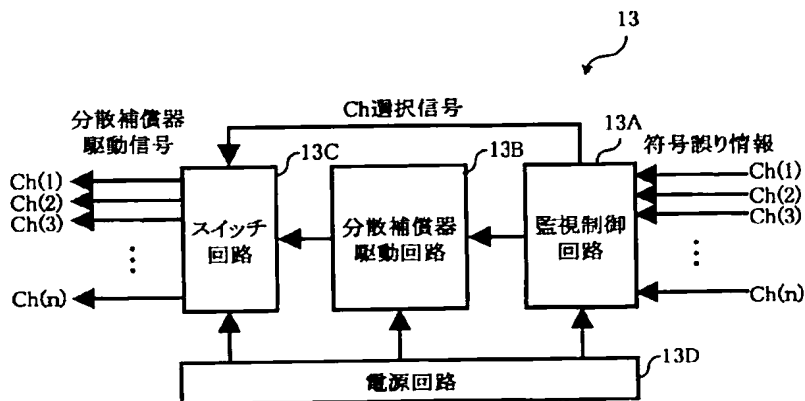
【図 9】



【図 10】

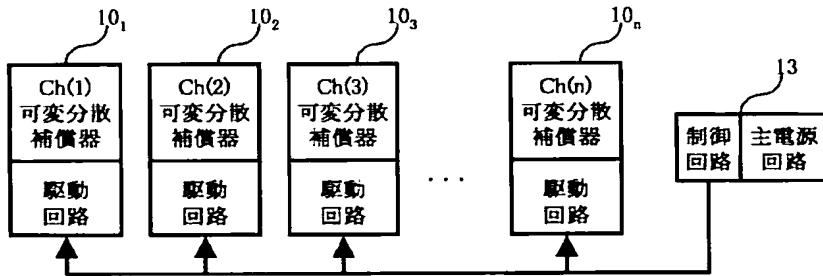


【図 11】

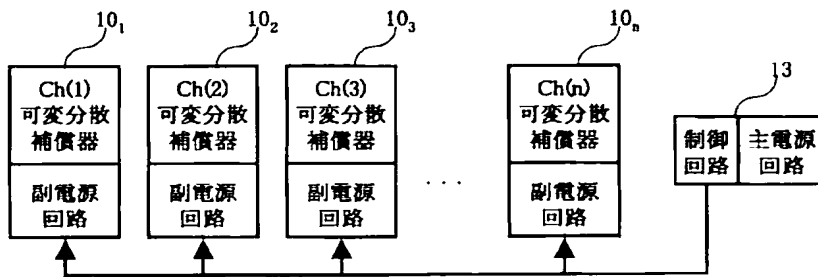




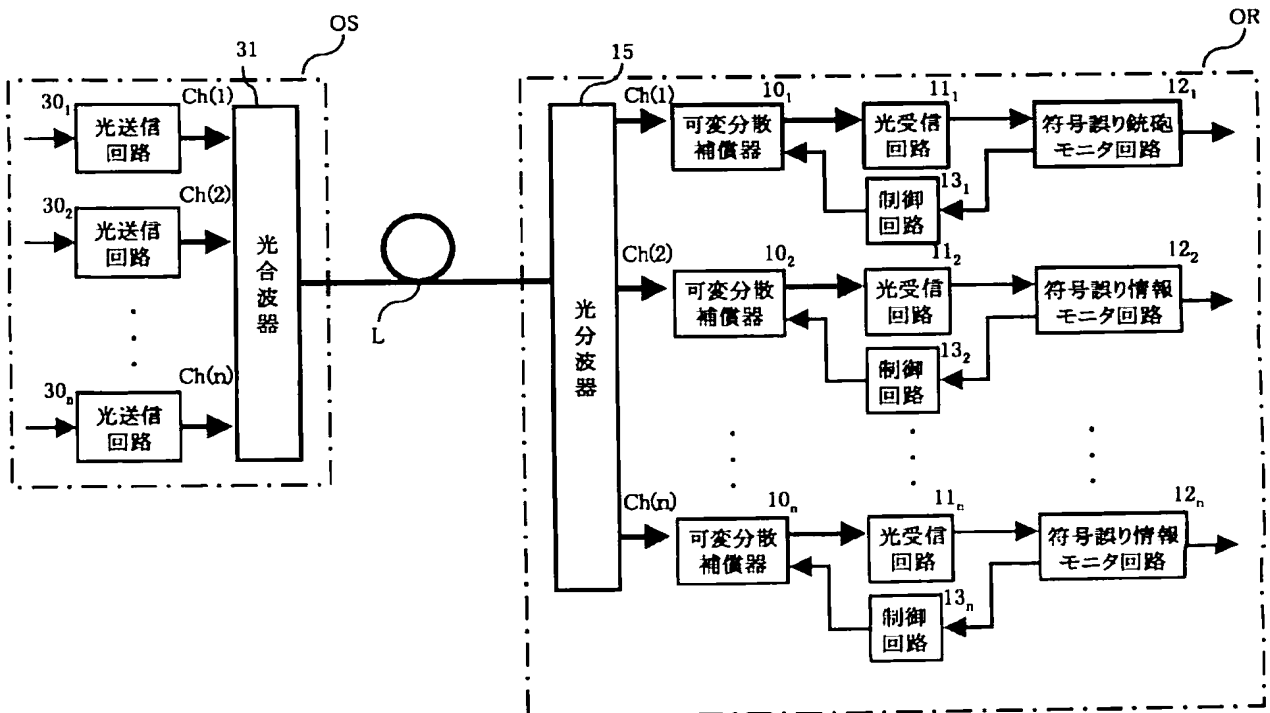
【図12】



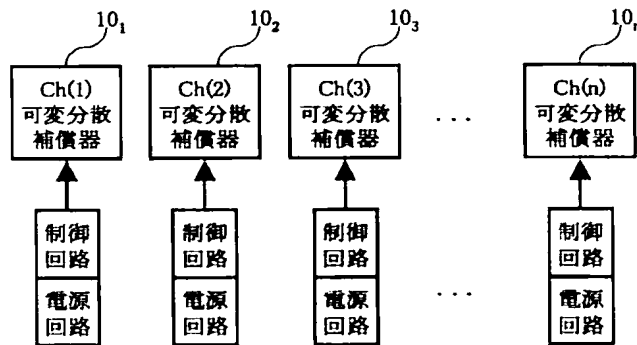
【図13】



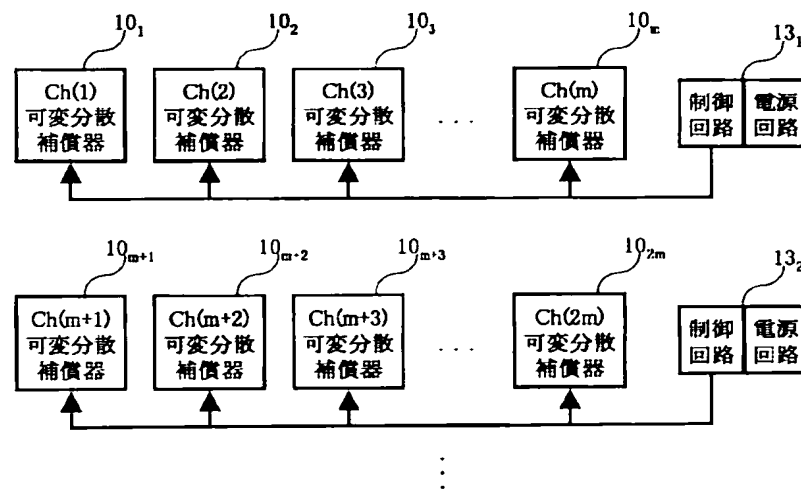
【図14】



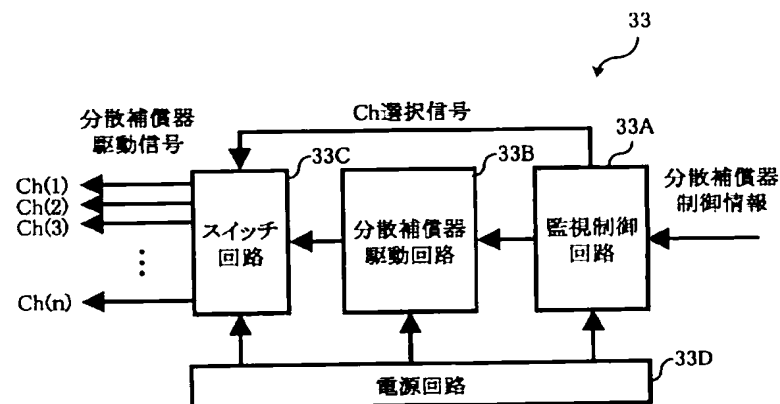
【図15】

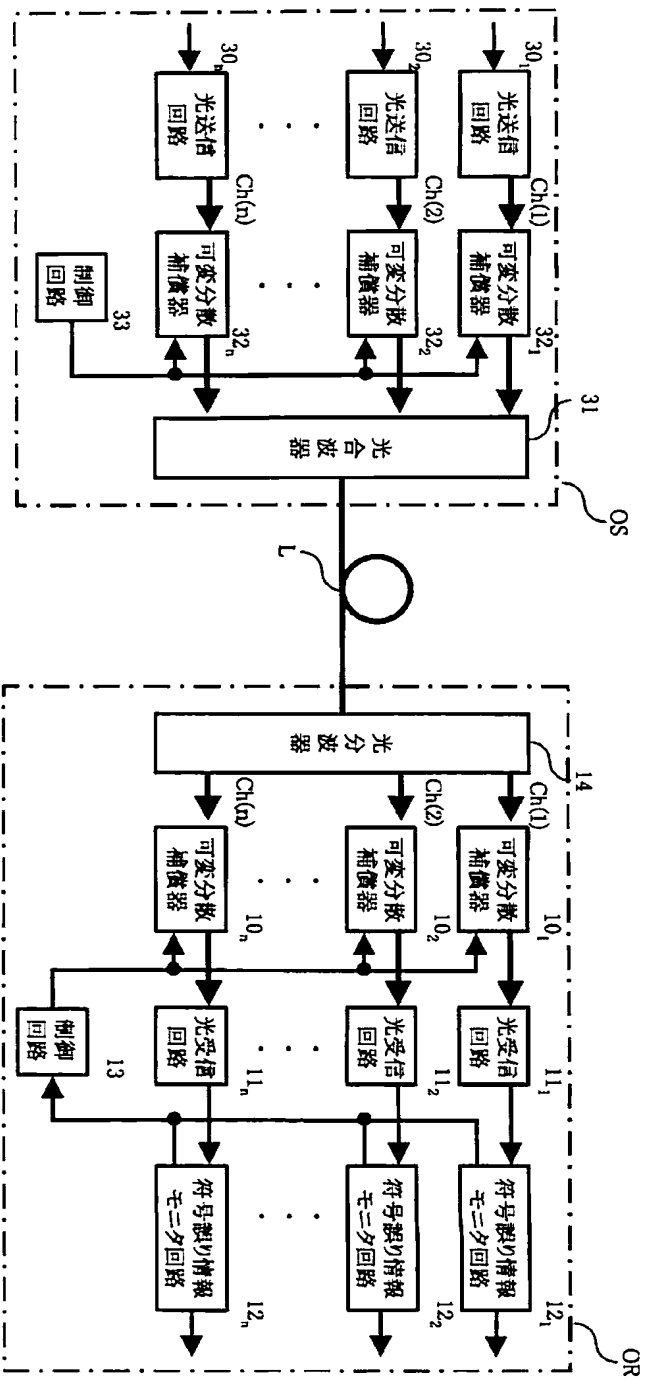


【図16】

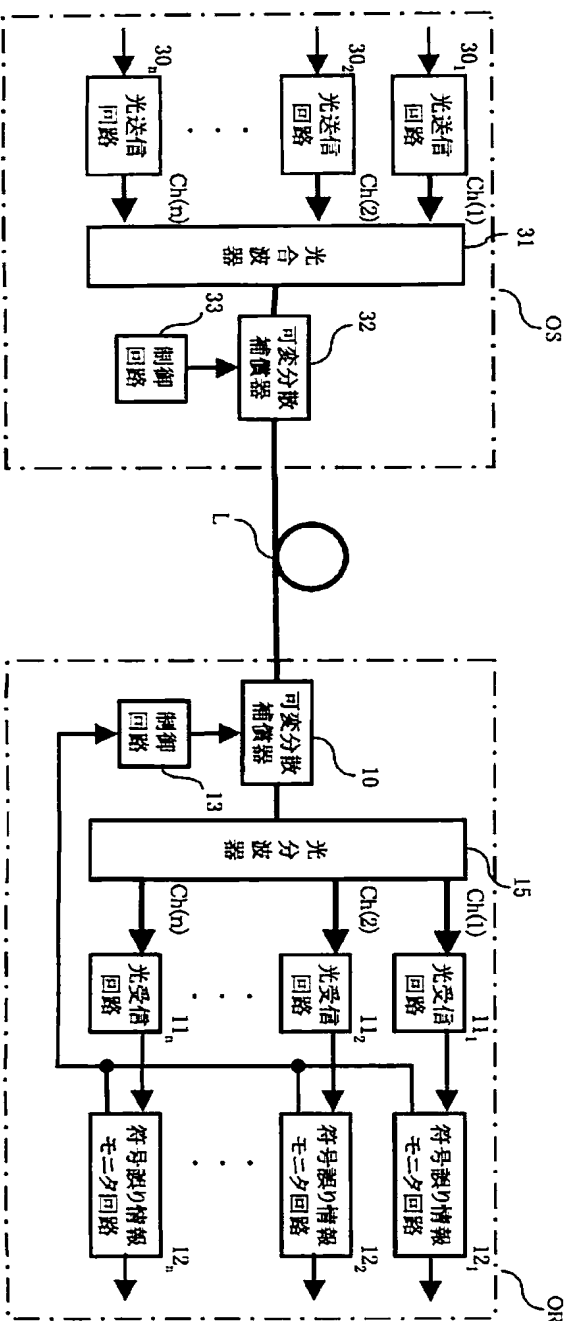


【図18】



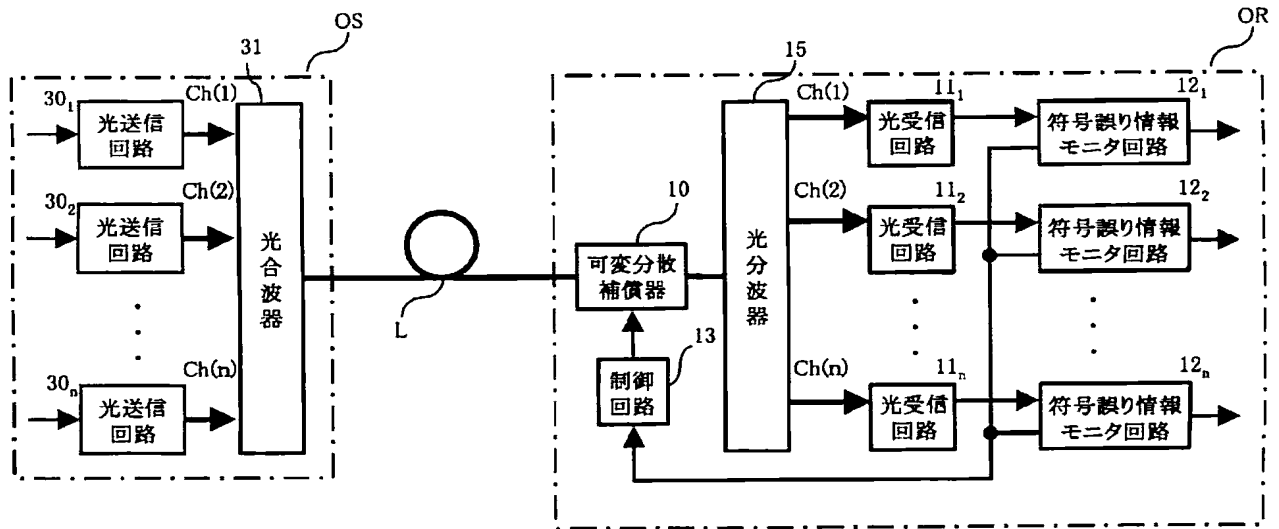


【図 17】



【図 20】

【図 19】



【図21】

